

# Desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão para o Gerenciamento Integrado do Lago Paranoá, Brasília-DF

F. G. Albuquerque, UCB e S. C. Faria, UCB

## RESUMO

A bacia do Lago Paranoá é um espaço fortemente urbanizado no Distrito Federal, que abriga Brasília e diversas cidades satélites. O Lago, de formação artificial, além de constituir o coração da capital e local favorito de recreação, presta-se também à pesca, irrigação, diluição de águas residuais e produção de energia elétrica, sendo esta última a atividade focal do Sistema de Suporte à Decisão aqui apresentado. Os objetivos desse Sistema estão relacionados a dois fatores decisivos para a manutenção da competitividade de qualquer empresa geradora de energia hidrelétrica: (i) capacidade de realizar previsões com um mínimo de segurança; e (ii) possibilidade de analisar cenários de ocupação da bacia sob a perspectiva dos riscos de impacto negativo gerado pelas atividades humanas que nela se desenvolvem. Para a estrutura do SSD está sendo considerada a utilização das plataformas RIBASIM, SOBEK e Delft3D do WL Delft Hydraulics e um Sistema de Informações Geográficas.

## PALAVRAS-CHAVE

Geração hidrelétrica; gestão de bacia hidrográfica; risco ambiental; sistema de suporte à decisão.

## I. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Lago Paranoá, com área de drenagem de 1.034 km<sup>2</sup>, tem seus divisores de água em altitudes de 1.300-1.400 m. É composta de 5 microbacias, como ilustra a figura 1. Trata-se de um espaço fortemente urbanizado dentro do bioma Cerrado (Planalto Central do Brasil), no qual estão localizadas Brasília e algumas de suas cidades satélites – Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Guará, Águas Claras, Paranoá e Riacho Fundo. Brasília é um sítio protegido pela UNESCO e a própria bacia é uma área de proteção ambiental criada por lei distrital.

O Lago Paranoá, formado em 1956 por barragem do rio Paranoá, foi planejado inicialmente com fins paisagísticos, como “uma agradável atração para a cidade” (SILVA, s/d), antes mesmo da escolha do projeto ur-

banístico da capital. Todavia, naquele mesmo ano decidiu-se aproveitar o desnível existente para a instalação de uma usina hidrelétrica para a geração de energia para a futura cidade em concordância com o relatório Belcher que apontava o rio Paranoá como o local mais indicado para a instalação de uma usina hidrelétrica (BELCHER, 1955). O projeto de engenharia feito pela firma Raymond Builders Inc. concluiu por um aproveitamento de 27 MW.

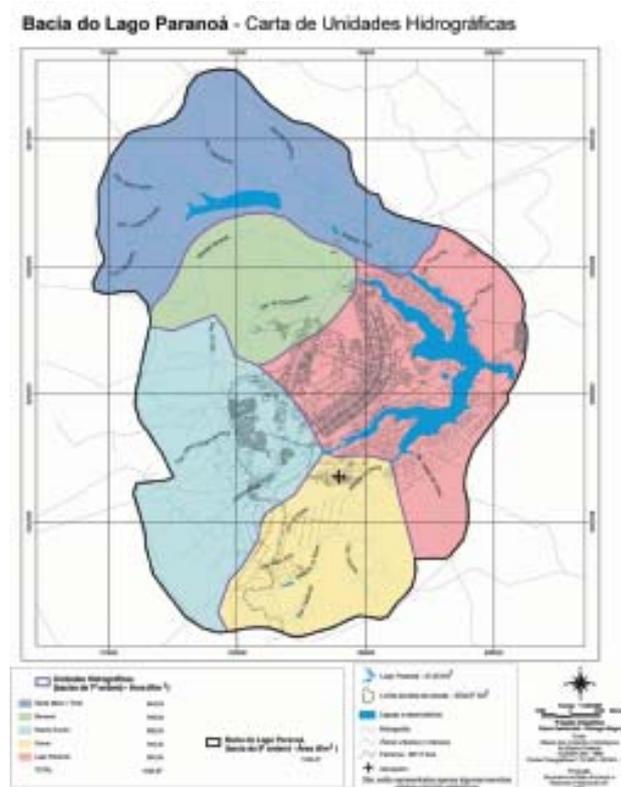


FIGURA 1 - Bacia do Lago Paranoá – Unidades hidrográficas (FONSECA, 2001. p. 50)

O Lago formado pelo reservatório tem uma área superficial de 37,5 km<sup>2</sup>, volume total de 498 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, profundidade média de 14,42 m, profundidade máxima de 38 m, perímetro de 111,87 km, comprimento de 40 km, largura máxima de 5 km. A vazão média afluente dos principais cursos d'água é de 11,29 m<sup>3</sup>/s e vazão média efluente é de 19,80 m<sup>3</sup>/s. O tempo de detenção médio é de 299 dias.

Lúcio Costa, o autor do Plano Piloto de Brasília, evitou a ocupação da orla do Lago com bairros residenciais e propôs sua total preservação para uso de toda a população (COSTA, 1991). Contudo isto não ocorreu e tanto as

Este trabalho está sendo financiado pela Companhia Energética de Brasília, com término previsto para novembro 2004.

F. G. Albuquerque (fgalbuqu@pos.ucb.br) e S. C. Faria (scfaria@pos.ucb.br) trabalham na Universidade Católica de Brasília, no Laboratório de Modelagem Ambiental e em Recursos Hídricos-LAMARH, vinculado ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Planejamento e Gestão Ambiental.

margens do lago quanto a bacia foram efetivamente ocupadas, gerando muitos conflitos sócio ambientais. Hoje o Lago, 43 anos depois da inauguração da Capital, além de constituir seu coração e local favorito de recreação, serve também à pesca, irrigação, diluição de águas residuais, abastecimento de água e produção de energia elétrica. A geração de energia é o foco principal do Sistema de Suporte à Decisão – SSD em fase de desenvolvimento pelos pesquisadores da Universidade Católica de Brasília.

## II. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Os objetivos do SSD estão relacionados a fatores decisivos para a manutenção da competitividade das empresas geradoras de energia hidrelétrica: (i) capacidade de realizar previsões com um nível satisfatório de segurança e (ii) possibilidade de analisar cenários de ocupação da bacia e os riscos de impacto negativo que os usos humanos possam representar para a geração (ALBUQUERQUE, 2002).

O projeto de pesquisa está sendo desenvolvido em duas linhas principais de investigação, integradas ao final a um Sistema de Suporte à Decisão. A primeira linha visa modelar os aspectos de qualidade de água no reservatório do Lago Paranoá, utilizando um modelo capaz de representar os aspectos de transporte e qualidade de água em três dimensões. Kennedy (1999) mostrou que a localização do reservatório na bacia hidrográfica e sua operação afetam ou determinam a qualidade da água dos lagos artificiais formados por barragens. Duas conclusões podem ser extraídas do trabalho de Kennedy. Em primeiro lugar, a influência do tempo de residência em diversas variáveis de qualidade de água. Em segundo lugar, que os reservatórios para geração hidrelétrica apresentam um menor tempo médio de residência e uma maior amplitude de valores. O tempo de residência é função da movimentação da água no reservatório ou da hidrodinâmica do lago. Portanto, uma característica chave para a modelagem de pequenos reservatórios, cuja finalidade principal seja a geração de energia, é a descrição precisa do processo hidrodinâmico.

A importância de se modelar em três dimensões o reservatório do Lago Paranoá também foi comprovada pela análise estatística dos dados de qualidade de água. Albuquerque e Alcanfor (2002) mostraram existir uma significativa estratificação horizontal e vertical do Lago e não haver correlação significativa entre as características de qualidade dos tributários e de pontos de coleta no Lago próximos aos mesmos.

No projeto de pesquisa estão sendo utilizados os módulos FLOW e WAQ do Delft3D. O módulo FLOW é capaz de calcular o escoamento variável e os fenômenos de transporte em duas ou três dimensões num “grid” computacional curvilíneo. Pode ser utilizado em estudos de intrusão salina, de estratificação térmica em lagos ou reservatórios, de transporte de materiais dissolvidos e poluentes entre outros. O módulo WAQ é capaz de modelar em três

dimensões os processos de qualidade de água utilizando, como termo de transporte os resultados do módulo FLOW. A esse termo é somado aos termos dos processos bioquímicos e das estradas e saídas na equação do balanço de massa para cada constituinte. O WAQ é capaz de descrever qualquer combinação de constituintes e não está limitado pelo número ou complexidade dos processos de qualidade de água. Contém uma biblioteca com mais de 50 processos de qualidade cobrindo 140 substâncias. As principais áreas de aplicação são: a) modelagem de bactérias, b) processos químicos, c) processos de eutrofização e ciclo de nutrientes, d) sedimentação e ressurgência de partículas, d) interação entre água e fundo, e) processos que ocorrem na superfície, f) transporte e processos químicos envolvendo metais pesados e micropoluentes orgânicos, e g) recirculação de água para resfriamento.

Os esforços iniciais de aplicação da plataforma Delft3D comprovaram novamente as dificuldades de utilizar um modelo que descreve, em detalhes e, os processos físicos, químicos, biológicos e hidrodinâmicos que ocorrem em sistemas aquáticos. As dificuldades principais estão relacionadas com a disponibilidade de dados necessários para a calibração e validação do modelo e com a própria dificuldade de representar os processos mais importantes para a determinação da qualidade da água do Lago Paranoá. Nosso estudo visa descrever o fósforo, apontado em estudos anteriores, como fator limitante no processo de eutrofização do Lago Paranoá. Especial atenção deverá ser dada à questão da interação com o sedimento de fundo, a influência da ictiofauna e do sedimento em suspensão no ciclo do fósforo. Um trabalho de tese de doutorado está sendo desenvolvido na modelagem da interação da ictiofauna no ciclo do fósforo. A escolha do Lago Paranoá o desenvolvimento do presente projeto piloto visou abrandar essas dificuldades. A Companhia de Saneamento de Brasília – CAESB vem monitorando a qualidade de água do lago à alguns anos e dispõe de uma base de dados que está disponível para o projeto. Todavia, vale ressaltar que os dados foram e são coletados para determinação de índice de qualidade de água e não são suficientes para descrever processos em detalhes como requerido no presente esforço de simulação.

A Figura 2 mostra a o “grid” computacional curvilíneo utilizado nas primeiras simulações hidrodinâmicas do Lago. Na vertical, o lago foi dividido em dez camadas de maneira a melhor representar os processos na superfície e do sedimento de fundo e as variações de profundidade. Na vertical, o Delft3D utiliza a coordenada sigma que pode reduzir significativamente o esforço computacional. A segunda linha de pesquisa está voltada a determinar os impactos do uso e ocupação do solo na hidrologia, cargas e aportes de nutrientes do Lago. Especial atenção será dada à questão dos aportes provenientes de fontes difusas.

Os resultados dessa linha serão as entradas da linha anterior. Ou seja, através de um modelo de simulação, em nível de bacia hidrográfica, serão avaliados os impactos do uso e ocupação do solo no escoamento e aporte de nutri-

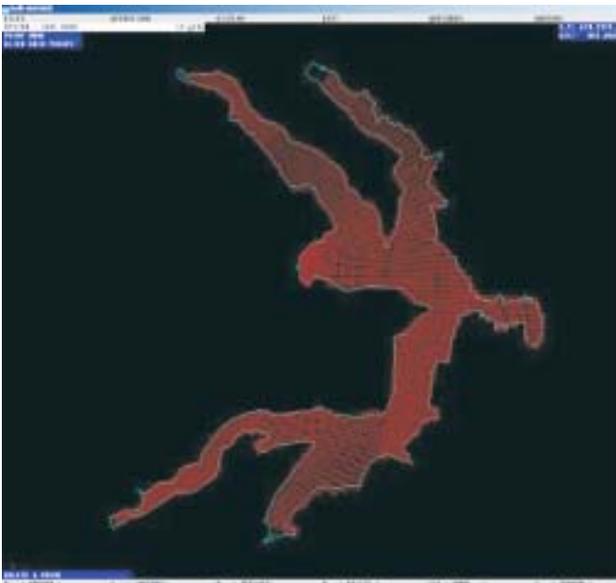


FIGURA 2 – Grid computacional curvilíneo do Lago Paranoá (Software Delft3D)

entes que entram no Lago e que poderão afetar a capacidade de geração do empreendimento. A integração das duas linhas de pesquisa em um sistema de suporte à decisão permitirá que os gestores do empreendimento tenham a necessária abordagem sistêmica para a determinação dos impactos e riscos sobre o empreendimento de geração. Poderão então simular cenários de ocupação futura e prever, tanto em nível de planejamento como de operação, a melhor linha de ação a ser seguida. Com a capacidade de previsão será possível negociar os interesses de geração com outros usos nos Comitês de Bacias, órgãos colegiados deliberativos responsáveis pela gestão da bacia segundo a Lei 9433/97, que instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil. No presente, estão sendo discutidas as bases para instalação do Comitê de Bacia do Lago Paranoá.

Para o desenvolvimento dessa segunda linha foi adquirida a plataforma SOBEK e está em processo de aquisição a plataforma RIBASIM. Essas plataformas foram escolhidas porque são desenvolvidas pelo mesmo laboratório do Delft3D, o WL Delft Hydraulics da Holanda, facilitando as questões de integração essenciais para o projeto de desenvolvimento do sistema de suporte à decisão. Além disto, o WL Delft Hydraulics é um reconhecido centro de modelagem física e matemática de obras hidráulicas e recursos hídricos que dá confiabilidade e garante o suporte técnico necessário.

River Basin SIMulation é um modelo de simulação para bacias hidrográficas utilizado no planejamento, que liga as várias entradas de água na bacia aos usos existentes. Foi projetado para análises que requerem o cômputo do balanço de massa na bacia. O RIBASIM permite analisar as questões de demanda, operação e infra-estrutura hídrica em nível de bacia hidrográfica, determinando a quantidade e composição dos fluxos em trechos de rio ou reservatórios. Esses resultados podem então ser estudados, em detalhes, por outros modelos, como o Delft3D, para o caso

de reservatórios, e o SOBEK, para o caso de redes de drenagem. A performance da bacia pode ser analisada em termos de alocação de água, energia firme e secundária, balanço de massa em toda a bacia, composição do fluxo, produção agrícola, controle de cheia, água subterrânea e máxima disponibilidade hídrica da bacia.

O SOBEK é um modelo de simulação hidrodinâmica em uma dimensão e duas dimensões, o qual permite analisar as questões de escoamento transitório e de qualidade de água ao mesmo tempo. O SOBEK resolve as equações completas de Saint-Venant. Podem ser modelados canais com pequenas declividades e escoamento subcrítico como canais íngremes, com escoamento supercrítico e ressalto hidráulico móveis. Permite ainda determinar as relações chuva-vazão na bacia, em vários níveis de detalhe. É indicado para o estudo de cheias, o estudo de operação de sistemas de múltiplos reservatórios, o estudo de aumento das cargas de poluentes devido à ocupação de bacia. Permite a simulação de cerca de 600 processos e constituintes, tais como: eutrofização, oxigênio, metais pesados, micro-poluentes, bactérias.

Esses dois softwares podem ser acoplados a Sistemas de Informações Geográficas – SIG para entrada de dados e apresentação de resultados.

A proposta do projeto é a utilização integrada desses três modelos, tendo como interface de entrada e saída um SIG. Devido ao escopo do trabalho em desenvolvimento, os modelos SOBEK e RIBASIM são usados como pré-processadores para gerar as vazões, cargas de nutrientes, poluentes e sedimentos que chegam ao reservatório. O Delft3D, com seus módulos FLOW e WAQ, será então utilizado para modelar os impactos na qualidade de água do reservatório. Cabe ressaltar que a aplicabilidade dos modelos é muito ampla, podendo cada um deles ser utilizado separadamente ou em conjunto, dependendo das características do problema a ser analisado. No nosso caso, o ponto focal é a influência da qualidade na operação e geração de energia do reservatório.

O trabalho também tem componente importante de estruturação do Laboratório de Modelagem Ambiental e de Recursos Hídricos – LAMARH, da Universidade Católica de Brasília. Com o financiamento do projeto de pesquisa está sendo possível implantar o LAMARH, que servirá como um centro de desenvolvimento e capacitação em modelagem matemática aplicada ao meio ambiente e a recursos hídricos. Outro aspecto importante é a participação das pesquisas na formação acadêmica de alunos de Engenharia Ambiental e do Programa *Stricto Sensu* em Planejamento e Gestão Ambiental. Atualmente desenvolvem projetos no LAMARH três alunos de graduação e dois de doutorado.

Está sendo criado o Instituto de Pesquisa em Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Tecnologia de Informação – MARHTI. O MARHTI tem o vital papel de ser o veículo de transferência do conhecimento e experiência gerado no LAMARH para a sociedade em geral, por meio de prestação de serviços de consultoria.

### III. CONCLUSÕES

Os lagos naturais ou artificiais (reservatórios formados a partir de represas ou barragens) contêm cerca de 90% de toda a água doce disponível para consumo humano no mundo. Os lagos e suas bacias de drenagem são ecossistemas únicos e valiosos. No Brasil, a importância dos reservatórios para a produção de energia elétrica é muito grande, chegando a representar cerca de 90% da energia elétrica produzida. Do potencial hidráulico existente, somente aproveitamos cerca de 25%. Isto implica dizer que, apesar dos esforços para diversificar a matriz energética brasileira, a energia elétrica produzida a partir da energia hidráulica continuará a dominar a matriz energética nos próximos anos. O potencial ainda inexplorado e a crise energética levaram a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL a acelerar o processo de licitação de concessões para aproveitamentos hidrelétricos, de acordo com as diretrizes do programa de privatização do setor elétrico. Como consequência, ocorrerá, num espaço relativamente curto de tempo, um aumento significativo de lagos artificiais no país, com gestão a cargo de grupos ou empresas privadas. É mister, para os interesses econômicos desses empreendimentos e a imagem desses grupos ou empresas perante a sociedade, que a gestão do empreendimento seja realizada dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável, observados os procedimentos de licenciamento ambiental e de acordo com os princípios de gestão integrada, processo participativo de tomada de decisão e adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão, estabelecidos pela Lei 9433/97.

É nesse contexto que os modelos matemáticos têm um papel primordial para os grupos interessados em participar do mercado de geração hidrelétrica privado no Brasil. Primeiramente, porque os modelos auxiliam na compreensão do comportamento do ecossistema sob sua responsabilidade (lagos artificiais formados pelas barragens), permitindo que o plano de manejo do reservatório tenha maior eficácia e haja uma melhor compatibilização entre os interesses de geração e qualidade da água. Em segundo lugar, com um modelo que represente bem o ecossistema é possível fazer previsões sobre o comportamento deste frente a ações previstas nos Planos de Bacia Hidrográfica (um dos instrumentos da Lei 9433/97) e identificar ações que possam afetar a capacidade de geração e outros usos estabelecidos para o reservatório. A capacidade de fazer previsões é de fundamental importância no processo participativo de tomada de decisão estabelecido na Lei 9433/97, coordenado pelos Comitês de Bacia, pois permite demonstrar o resultado futuro de ações que estão sendo apreciadas no presente. Tundisi (1999) salienta que, neste século o aumento da capacidade preditiva dos limnólogos (cientistas que estudam os aspectos físicos, químicos e biológicos da qualidade da água) fará parte de uma demanda permanente dos gestores de recursos hídricos e da sociedade. Nesse campo, a principal ferramenta será a da modelagem ecológica, alimentada por uma base de dados forte e consistente.

O projeto, em fase ainda inicial de desenvolvimento no LAMARH, tem o desafio de gerar competência na modelagem de meio ambiente e recursos hídricos para transferência à sociedade.

### IV. AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores do LAMARH agradecem o apoio financeiro e o estímulo recebido da Universidade Católica de Brasília–UCB. Agradecem também a Fundação Universa – FUNIVERSA, gestora administrativa e financeira do contrato, pelo seu empenho em buscar soluções para as dificuldades encontradas durante a implantação do projeto. Esta tem sido uma experiência pioneira, tanto para a UCB como para a Companhia Energética de Brasília – CEB, que trará, com certeza, muitos benefícios para o setor e a sociedade brasileira. Agradecem, ainda, de uma forma muito especial, à Sra. Eliene M. Matos, da CEB, pela compreensão frente às dificuldades e visão para vislumbrar os benefícios de um projeto desse nível de complexidade.

### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, F. G. . **Desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão para o gerenciamento integrado do Lago Paranoá.** Proposta de Projeto. Brasília: Universidade Católica de Brasília/LAMARH; Companhia Energética de Brasília, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Avaliação da integração dos aspectos de qualidade de água nas regras operacionais da barragem do Lago Paranoá.** Relatório Final de Projeto. Brasília: Universidade Católica de Brasília/LAMARH; Companhia Energética de Brasília, 2002.
- ALBUQUERQUE, F.G.; S. K. ALCANFOR. **Relatório do levantamento e análise de dados do projeto de pesquisa “Avaliação da integração dos aspectos de qualidade de água nas regras operacionais da barragem do Lago Paranoá.** Brasília: Universidade Católica de Brasília/ LAMARH; Companhia Energética de Brasília, 2002.
- ALBUQUERQUE, F.G.; FARIA, S. C. **Sistemas de soporte a la decisión en el manejo de cuencas hidrográficas con predominancia de uso urbano – el caso de la cuenca del lago Paranoá, Brasilia-DF.** In: Libro de Resúmenes del III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa, 8-13 de junio 2003. p. 243.
- BELCHER D.. **Relatório Técnico sobre a Nova capital da República.** Relatório Belcher, Belcher & Associates. 1955.
- COSTA, L.. **Relatório do Plano Piloto de Brasília – Brasília, cidade que inventei.** Brasília: ArPDF, CODEPLAN, DePHA, 1991.
- FONSECA, F. O. (Org.). **Olhares sobre o Lago Paranoá.** 1ª edição. Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal, 2001.
- KENNEDY, R. H.. **Reservoir design and operation: limnological implications and management opportunities.** Theoretical reservoir ecology and its applications. Editors Tundisi & Straskraba. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia, 1999.
- SILVA, E. **História de Brasília.** Brasília: Secretaria de Educação e Cultura do Distrito Federal, (s/d).
- TUNDISI, J. G. . **Limnologia no Século XXI: perspectivas e desafios.** São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia, 1999.